

Einleitung _____ 13

1. 3D-Druck, eine kurze Geschichte des Rapid Prototypings _____ 17

**Kapitel
1**

1.1 Wie alles anfang _____ 17

1.2 Subtraktive und additive Fertigungsverfahren _____ 18

1.3 Vom Rapid Prototyping zum 3D-Druck
für jedermann _____ 20

2. 3D-Druck, wie funktioniert das? _____ 25

**Kapitel
2**

2.1 Die computergesteuerte Heißklebepistole
oder der FDM-Druck _____ 25

2.2 Von der Idee zum Modell _____ 28

2.2.1 CAD-Software _____ 30

2.2.2 Slicing-Software _____ 33

2.2.3 Jetzt zum 3D-Drucker _____ 35

2.3 FDM-Druck farbig _____ 40

2.4 FDM-Druck mit Kohlefasern verstärkt _____ 44

3. Weitere 3D-Druck-Verfahren _____ 45

**Kapitel
3**

3.1 Stereolithografie, der Klassiker _____ 45

3.2 DLP und LCD als Lichtquelle _____ 49

3.3 PolyJet bzw. MultiJet Modeling _____ 51

3.4 Pulverdruckverfahren _____ 54

3.5 Selektives Lasersintern _____ 57

3.6 Verfahren zum Druck von Metallen _____ 59

3.7 Laminated Object Manufacturing und
Selective Deposition Lamination _____ 62

Kapitel 4

4. Welcher Drucker für welchen Zweck? _____ 65

- 4.1 Welche Art von Produkten soll gedruckt werden? _____ 65
- 4.2 Welche Materialanforderungen werden gestellt? _____ 69
- 4.3 Stärken und Schwächen der Drucktechnologien _____ 70
- 4.4 Kosten der Drucktechnologien _____ 72

Kapitel 5

5. Moderne Produktentwicklung mit 3D-Druck _____ 73

- 5.1 Änderungen bei der Produktentwicklung _____ 73
- 5.2 Time to Market mit 3D-Druck reduzieren _____ 75
- 5.3 Stückkosten und Stückzahlen _____ 76
- 5.4 Versorgung mit Ersatzteilen _____ 77

Kapitel 6

6. 3D-Drucker: Hersteller und Geräte _____ 79

- 6.1 FDM-Drucker _____ 79
 - 6.1.1 Anycubic _____ 82
 - 6.1.2 Bambu Lab _____ 83
 - 6.1.3 Creality _____ 84
 - 6.1.4 Flashforge _____ 85
 - 6.1.5 Prusa _____ 86
 - 6.1.6 Snapmaker _____ 88
 - 6.1.7 UltiMaker und MakerBot _____ 89
- 6.2 Resin-Drucker _____ 91
 - 6.2.1 SLA- bzw. MSLA-Drucker von Formlabs _____ 91
 - 6.2.2 Digital-Light-Processing-Drucker _____ 93
 - 6.2.3 LCD-Drucker _____ 93
- 6.3 Bezugsquellen _____ 95
- 6.4 Künstliche Intelligenz bei 3D-Druckern _____ 95

7. Software für die Modellierung und KI-Unterstützung	97
7.1 Arbeitsweisen in CAD-Programmen	97
7.2 Kostenlose Programme	99
7.3 Die preisgünstigen CAD-Programme	104
7.4 CAD-Profi-Programme	108
7.5 Künstliche Intelligenz in CAD-Programmen	111
7.5.1 Optimierung durch generatives Design	112
7.5.2 Vorteile des generativen Designs	113
7.5.3 Software für generatives Design	114

**Kapitel
7**

8. Hilfen und Fehlersuche mit CAD	117
8.1 Viewer-Programme	117
8.2 Konvertierungsprogramme	120
8.3 Reparatur und Bearbeitung von STL-Dateien	123
8.4 Verfremdung von STL-Dateien	124

**Kapitel
8**

9. Download von 3D-Modellen und mit KI erzeugte Modelle	127
9.1 Onlineportale für Bastler und Technikfans	127
9.2 Suchmaschinen für 3D-Objekte	135
9.3 Onlineportale für 3D-Konstruktionsdaten	137
9.4 Onlineportale für Bildung und Forschung	140
9.5 3D-Modelle mittels KI im Internet erstellt	143

**Kapitel
9**

10. Materialien für den 3D-Druck	147
10.1 Filament, das Material für den FDM-Druck	147
10.2 Standard-Filamente	150
10.2.1 PLA	150
10.2.2 ABS	151
10.2.3 PETG	151
10.2.4 ASA	152

**Kapitel
10**

10.2.5	PC	153
10.2.6	Nylon	153
10.2.7	PET	154
10.2.8	NinjaFlex	155
10.2.9	HDglass	155
10.2.10	FilaFlex	156
10.2.11	MoldLAY	157
10.2.12	Recycling-Filament	158
10.3	Filamente für Stützmaterial	159
10.3.1	PVA, wasserlöslich	159
10.3.2	HIPS als Druck- und Stützmaterial	160
10.3.3	PolySupport: mechanisch leicht entfernbares Stützmaterial	161
10.4	Filamente mit Beimischungen	161
10.5	Spezial-Filamente	164
10.5.1	Materialien für High-End-Drucker	165
10.6	Resin, das Material für SLA- und DLP-Drucker	166
10.7	Materialien für PolyJet- bzw. MJM-Drucker	167

Kapitel 11

11.	Selbst modellieren mit CAD	169
11.1	Der Einstieg mit Tinkercad	169
11.1.1	Der erste Start und die Bedienung von Tinkercad	169
11.1.2	Einen Schlüsselanhänger modellieren	175
11.1.3	Eigene Bauteile erstellen	190
11.1.4	STL-Dateien in Tinkercad	192
11.2	Mehr CAD mit FreeCAD	194
11.2.1	Der Start und die Grundeinstellungen	194
11.2.2	Den Schlüsselanhänger in FreeCAD modellieren	199
11.2.3	Eine Schachfigur modellieren: der Turm	211

11.3	Modellieren mit Autodesk Fusion	220
11.3.1	Programmoberfläche und Navigation	222
11.3.2	Noch eine Schachfigur, der Springer	225
11.3.3	Modellieren mit Volumen	245
11.3.4	Aus Springer mach Turm: das Geheimnis der Zeitleiste	257
11.3.5	Modellieren mit Flächen	263
12.	Aufbereitung für den 3D-Druck	275
12.1	Drucken mit Cura	279
12.1.1	Objekt einrichten im Vorbereiten- Modus	281
12.1.2	Vorschau des Druckvorgangs	287
12.1.3	Überwachen-Modus	288
12.1.4	Cura-Einstellungen	288
12.2	Weitere Slicer-Programme	289
12.2.1	Bambu Studio	289
12.2.2	PrusaSlicer	290
12.2.3	FlashPrint	291
12.2.4	Simplify3D	291
12.3	KI-unterstützte Slicer	293
13.	3D-Druck in der Praxis: Tipps und Tricks	295
13.1	Optimierung der Druckqualität bei FDM-Druckern	295
13.2	Parameter in der Slicer-Software optimieren	302
13.3	Tipps für Fortgeschrittene	314
13.3.1	Funktionsteile für maximale Belastung	314
13.3.2	Objekte mit glatter Oberfläche	319
13.3.3	Druck von Objekten mit kleinteiligen Bereichen und dünnwandigen Stellen	321
13.3.4	Druck mit maximaler Geschwindigkeit	324
13.4	Troubleshooting	326

**Kapitel
12**

**Kapitel
13**

13.5	Modellierungstipps für den 3D-Druck	331
13.5.1	Optimierung beim Stützmaterial	332
13.5.2	Wandstärken	334
13.5.3	Bridging	336
13.5.4	Masseansammlungen	337
13.5.5	Runde Übergänge sowie Ecken- und Kantenabstumpfung	337
13.5.6	Massive Innenbereiche	338
13.5.7	Elefantenfüße	338
13.5.8	Bohrungen, Gewinde und Verschraubungen	339
13.5.9	Bauteiloptimierung für Profis: die Formoptimierung	342

Kapitel 14

14.	3D-Scannen	345
14.1	3D-Modelle aus einer Fotoserie berechnen	346
14.2	Scannen in verschiedenen Technologien	350
14.3	Scannen mit strukturiertem Licht	352
14.3.1	CR-Scan Lizard Premium	352
14.3.2	Shining 3D	353
14.3.3	Scan in a Box von Open Technologies	354
14.3.4	Revopoint POP 3 Plus	355
14.3.5	NEO von RangeVision	356
14.3.6	Matter and Form THREE	357
14.3.7	Artec-Scanner	358
14.4	Scannen mit Laserlicht	359
14.4.1	Creality CR-Scan Raptor	360
14.4.2	Revopoint MetroY	361
14.4.3	FARO: der Profi in 3D-Messtechnik	362
14.4.4	Leica – der Name steht nicht nur für Kameras	363
14.5	Körperscanner	364

15. 3D-Druck außer Haus _____ 365

Kapitel 15

- 15.1 Der 3D-Printshop um die Ecke _____ 365
- 15.2 FabLabs _____ 365
- 15.3 Stadtbibliotheken _____ 366
- 15.4 Medienzentren _____ 367
- 15.5 Der 3D-Printshop im Internet _____ 367
 - 15.5.1 3D-Druck-Dienstleister _____ 368
 - 15.5.2 Drucken irgendwo, Produzenten online ____ 368
 - 15.5.3 Weitere Profis als Dienstleister _____ 371
 - 15.5.4 Dienstleister für Spezialanwendungen ____ 372
- 15.6 Das 3D-Selfie _____ 373

16. 3D-Druck: was heute schon geht und was kommen wird _____ 375

Kapitel 16

- 16.1 Architektur und Bauwesen _____ 375
- 16.2 Automobil und Fahrzeugbau _____ 380
 - 16.2.1 Druckzentren der Automobilindustrie ____ 382
 - 16.2.2 Motorrad 3D-gedruckt und fährt elektrisch _____ 383
- 16.3 Produktion und Handwerk _____ 384
- 16.4 Militärtechnik und Rüstungsindustrie _____ 386
- 16.5 Luft- und Raumfahrttechnik _____ 388
- 16.6 Denkmalpflege und Archäologie _____ 389
- 16.7 Kriminalistik _____ 391
- 16.8 Einrichtungsobjekte und Möbel _____ 391
- 16.9 Lebensmittel _____ 392
- 16.10 Medizin, Reha-Produkte und Brillen _____ 394
- 16.11 Dentaltechnik _____ 397
- 16.12 Mode und Bekleidung _____ 397
- 16.13 Sport und Freizeit _____ 401
- 16.14 Kunst und Design _____ 404

Index _____ 407

11.2 Mehr CAD mit FreeCAD

Die bekannte und beliebte Open-Source-CAD-Software *FreeCAD* hat wesentlich umfangreichere Funktionen als *Tinkercad*. Es ist parametrisch, das heißt, nachträglich kann auf alle Parameter zur Erstellung der Objekte zugegriffen werden und sie können auch geändert werden. Ein unverzichtbarer Vorteil bei größeren Modellen. Es kommt noch hinzu, dass *FreeCAD* auf Dauer kostenlos ist und trotzdem mit manchem Profi-Programm mithalten kann. Auf den ersten Blick macht *FreeCAD* einen etwas unübersichtlichen Eindruck und kann den CAD-Neuling abschrecken. Das liegt vor allem an den vielen Arbeitsbereichen, aber gerade das ist sein Vorteil und macht es universell einsetzbar. Keine Angst, für die Modellierung druckbarer Objekte können wir uns im Wesentlichen auf zwei Arbeitsbereiche beschränken. Aber das Programm geht über das hinaus, was Sie bei der Modellierung von Teilen für den 3D-Druck brauchen.¹⁰

11.2.1 Der Start und die Grundeinstellungen

Sie finden *FreeCAD* unter der Adresse www.freecad.org im Internet. Die bei der Erstellung dieses Buches aktuelle Version war 1.0. Da *FreeCAD* als Open-Source-CAD-Software von einer Community weiterentwickelt wird, kommt es häufiger zu Updates. An den Grundfunktionen ändert sich dabei meist nichts, sodass Sie das Tutorial auch mit einer späteren Version bearbeiten können.

Schon auf der Startseite der FreeCAD-Homepage sehen Sie das Feld *Download now*. Klicken Sie darauf, kommen Sie zur Auswahl der Version für Ihr Betriebssystem. *FreeCAD* läuft unter Windows ab Version 8 (nur 64 Bit), unter macOS ab Version 10.13 High Sierra und unter Linux. Nach dem Download kann die Installation gestartet werden. Sie läuft weitgehend automatisch ab, es ist nichts Besonderes zu beachten.



Danach starten Sie das Programm mit dem *FreeCAD*-Icon auf Ihrem Desktop. Der Willkommensbildschirm beim ersten Start von *FreeCAD* sieht wie in Abbildung 11.35 aus. Dort können Sie folgende Optionen wählen:

- **Sprache und Einheitensystem:** Hier können Sie die Sprache und das Einheitensystem wählen. Für das Arbeiten in der mechanischen Konstruktion im metrischen System wäre *Standard (mm, kg, s, °)* richtig. Wählen Sie dies. Das können Sie später auch jederzeit umstellen.

¹⁰ Die Screenshots und Grafiken in diesem Kapitel wurden von Andreas Schlenker und Werner Sommer mit FreeCAD erstellt.

- **Navigationsstil:** Hier ist *CAD* die sinnvollste Einstellung. Die Navigation mit der Maus ist dann identisch mit anderen CAD-Programmen.
- **Theme:** Hier kann die Farbe der Oberfläche des Programms gewählt werden. Die Abbildungen in diesem Buch wurden für eine bessere Lesbarkeit mit der Einstellung *FreeCAD Light* erstellt.

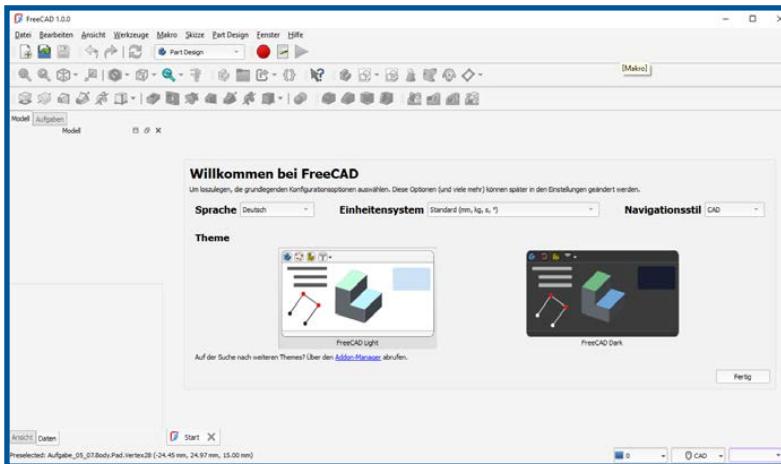


Abbildung 11.35:
Der Willkommens-
bildschirm beim
ersten Start von
FreeCAD.

Klicken Sie auf die Schaltfläche *Fertig*, dann kommen Sie zum Startbildschirm von *FreeCAD*, so wie er bei jedem Neustart aussieht (siehe Abbildung 11.36).

Fertig

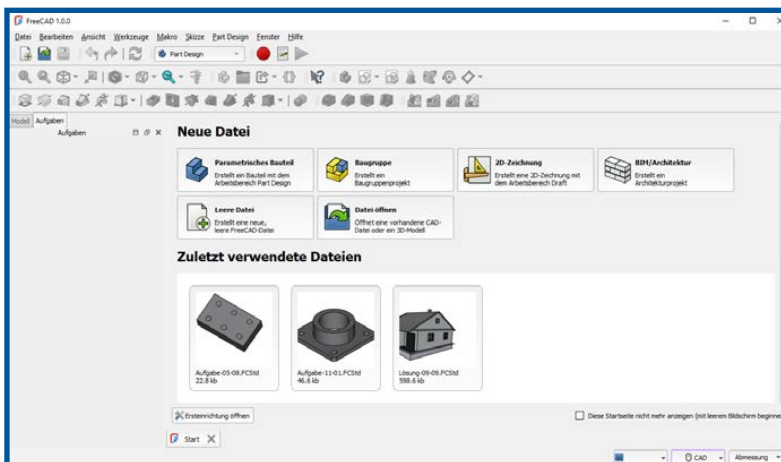


Abbildung 11.36:
Der Startbildschirm
beim ersten Start
von FreeCAD.

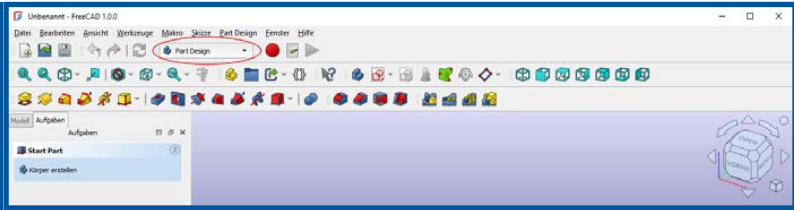
Beginnen wir gleich mit der Arbeit. Klicken Sie dazu auf das Symbol *Neu* im Werkzeugkasten *Datei* unter der Menüleiste. Hätten Sie schon länger mit dem Programm gearbeitet, würden im Bereich *Zuletzt verwendete Dateien* die Dateien, an denen Sie zuletzt gearbeitet haben, in einem Vor-



schaufenster angezeigt. Scrollen Sie weiter herunter, bekommen Sie im Bereich *Beispiele* Dateien für Übungszwecke.

Danach erscheint der Arbeitsbildschirm (siehe Abbildung 11.37). Das Programm hat die verschiedenen Funktionen in Arbeitsbereiche aufgeteilt, sogenannte *Workbenches*. Zum Modellieren von 3D-Geometrien und parametrischen Modellen benötigen Sie den Arbeitsbereich *Part Design*. Wählen Sie diesen aus der in Abbildung 11.37 markierten Drop-down-Liste.

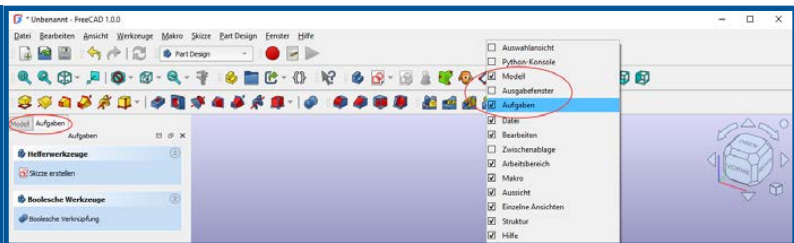
Abbildung 11.37:
Wahl des Arbeitsbereichs.



Den meisten Platz nimmt die Arbeitsfläche ein, auf der das Modell erstellt wird. Rechts sollten sich immer zwei Fenster befinden, die unabhängig voneinander ein- und ausgeschaltet werden können. Man kann dies mit dem Kreuzsymbol rechts oben in der Titelleiste machen. Falls eines oder beide ausgeschaltet sind, ist das kein Beinbruch. Gehen Sie so vor:

- 1 Zeigen Sie mit der Maus auf eine beliebige freie Stelle in einem Werkzeugkasten und drücken Sie die rechte Maustaste.
- 2 Es wird eine Auswahlliste eingeblendet, in der Sie Bedienelemente und Werkzeugkästen ein- und ausschalten können, darunter auch die Fenster *Modell* und *Aufgaben* (siehe Abbildung 11.38). Schalten Sie beide ein. An den anderen Elementen ändern Sie vorerst nichts.

Abbildung 11.38:
Ein- und Ausschalten von
Bedienelementen.



Im folgenden Text werden diese beiden Fenster, die ja immer beide aktiv sein sollten, als *Kombifenster* und die beiden Teile *Aufgaben* und *Modell* als Register bezeichnet. So ist die Orientierung für den Leser einfacher. Dazwischen sehen Sie das *Ausgabefenster*. Dort werden bestimmte Aktionen protokolliert. Das benötigen Sie vorerst nicht und schließen es mit dem Kreuz an der rechten oberen Ecke des Fensters.

Die Darstellung der Arbeitsfläche mit ihrem blauen Hintergrund ist etwas ungünstig für die Abbildungen in diesem Buch. Unter Umständen wollen Sie das ebenfalls ändern. Sie wollen eine andere Farbe wählen und gleich weitere Einstellungen vornehmen. Gehen Sie so vor:

- 1 Wählen Sie aus der Menüleiste das Abrollmenü *Bearbeiten* und dort den untersten Eintrag *Einstellungen*.
- 2 Im Dialogfeld klicken Sie auf den Bereich *Anzeige* und dort wiederum auf den Untereintrag *Farben* (siehe Abbildung 11.39).
- 3 Wählen Sie jetzt im Bereich *Hintergrundfarbe* die Option *Einfache Farbe* statt des Farbverlaufs. Klicken Sie dann auf das Farbfeld darunter und wählen ein helles Grau. Tragen Sie beispielsweise im Farbwähler die Werte für *Rot/Grün/Blau* ein, hier 190/190/190 (siehe ebenfalls Abbildung 11.39), und klicken Sie darunter auf *OK*. Klicken Sie ganz unten noch nicht auf *OK*, denn es sollen noch weitere Einstellungen geändert werden.

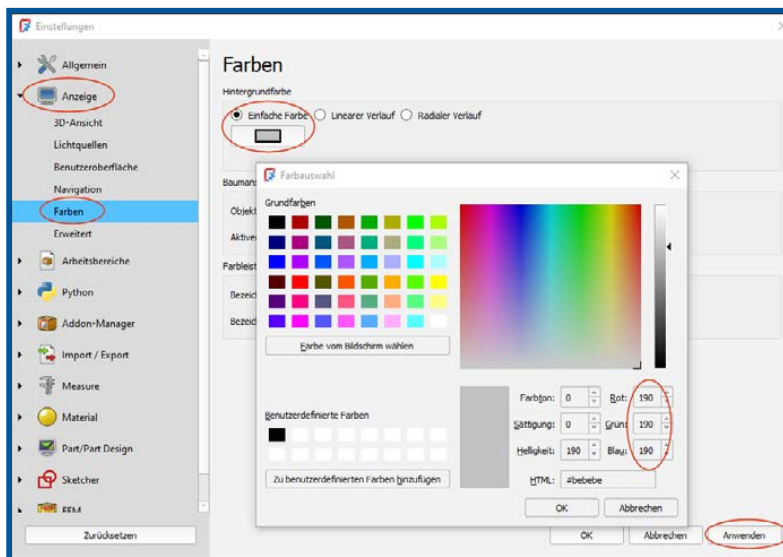
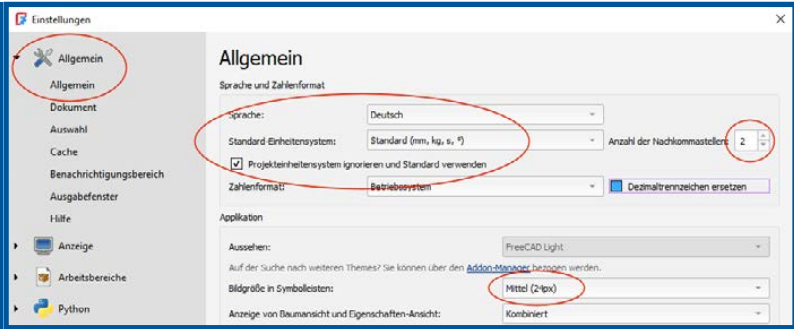


Abbildung 11.39: Einstellung der Hintergrundfarbe.

- 4 Um im richtigen *Einheitensystem* zu arbeiten, sollten Sie dies überprüfen. Im Bereich *Allgemein*, Untereintrag *Allgemein*, sollte das metrische System eingestellt sein (Option *Standard (mm, kg, s, °)*) mit zwei Nachkommastellen. Falls Ihnen die Symbole in den Werkzeugkästen zu klein oder zu groß sind, können Sie diese im Feld *Bildgröße in Symbolleisten* ebenfalls ändern (siehe Abbildung 11.40).

Abbildung 11.40:
Einstellung des
Einheitensystems
und Größe der
Symboleisten.



GUT
ZU
WISSEN

Werkzeugkästen und Fenster in FreeCAD

Alle Bedienelemente, die im Folgenden beschrieben werden, finden Sie in den entsprechenden Werkzeugkästen. Es kann sein, dass erwähnte Werkzeugkästen nicht sichtbar sind. Mit einem Rechtsklick der Maus im Bereich der Werkzeugkästen bekommen Sie eine Liste der aktuell zugeschalteten Werkzeugkästen in einem Auswahlménü angezeigt (siehe Abbildung 11.41 links). Die Einträge ohne Häkchen sind ausgeschaltet. Mit einem Klick darauf werden sie eingeschaltet. Der Name eines Werkzeugkastens wird eingeblendet, wenn Sie mit der Maus auf den senkrechten Balken des Werkzeugkastens zeigen, nicht klicken (siehe Abbildung 11.41 rechts oben). Wenn Sie auf ein Symbol im Werkzeugkasten zeigen, nicht klicken, werden der Name sowie eine kurze Beschreibung angezeigt (siehe Abbildung 11.41 rechts unten).

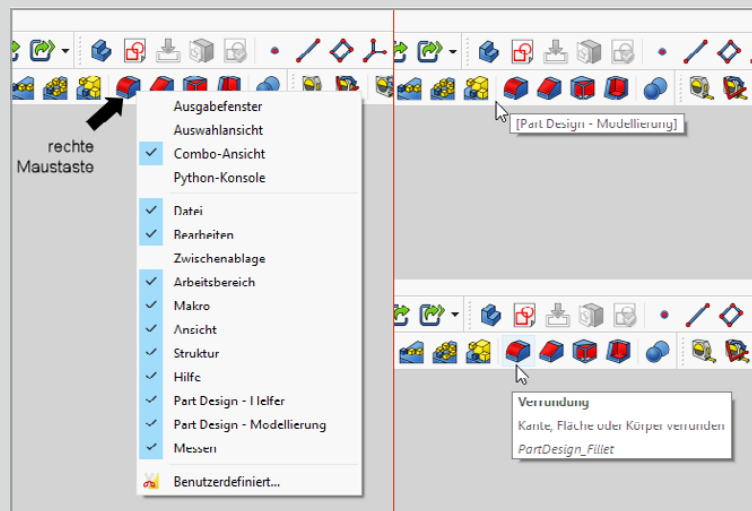
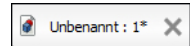


Abbildung 11.41: Werkzeugkästen und Fenster.

Alle Voreinstellungen sind gemacht. Beenden Sie das Dokument erst einmal, ohne es zu speichern.



Am unteren Rand der Arbeitsfläche befinden sich die Symbole der gerade geöffneten Dateien und das Symbol für das Register *Start*. Der Eintrag *Unbenannt* ist für die gerade geöffnete Datei. *Unbenannt* steht dafür, dass sie noch nicht gespeichert wurde. Klicken Sie beim Symbol rechts auf das Kreuz und wählen Sie aus dem Dialogfeld *Verwerfen*. Sie kommen dann wieder zum Startbildschirm.

11.2.2 Den Schlüsselanhänger in FreeCAD modellieren

Um den Unterschied zu *Tinkercad* zu sehen, soll jetzt auch in *FreeCAD* der Schlüsselanhänger aus Abschnitt 11.1 modelliert werden. So erkennen Sie die Vorzüge eines »richtigen« CAD-Programms sehr schnell. Sie erinnern sich, der Schlüsselanhänger soll wie in Abbildung 11.42 aussehen.

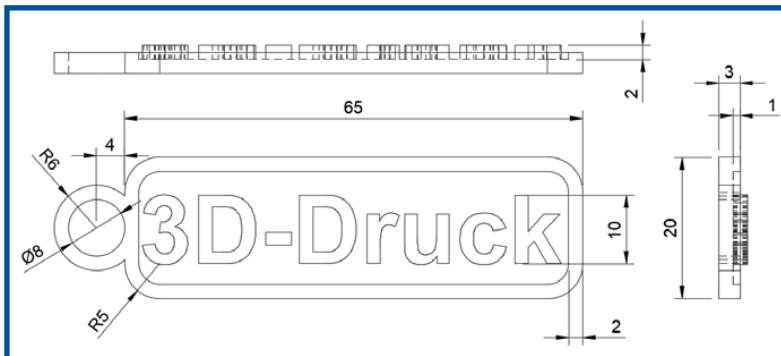


Abbildung 11.42:
Noch einmal der
Schlüsselanhänger.

Im Gegensatz zu *Tinkercad*, bei dem mit Grundkörpern gearbeitet wird, arbeitet *FreeCAD* mit Skizzen. Ein 3D-Problem wird zunächst auf eine 2D-Ausgangskontur zurückgeführt, die dann mit 3D-Funktionen in ein 3D-Modell überführt wird.

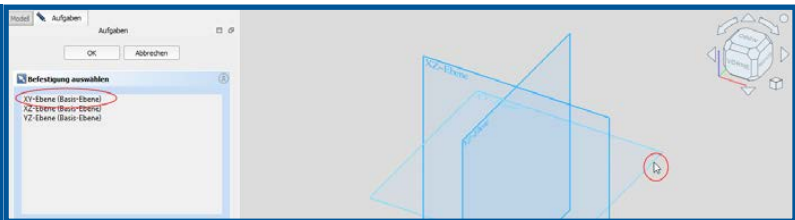
Die erste Skizze

- 1 Starten Sie jetzt in *FreeCAD* wieder eine neue Datei. Der Arbeitsbereich *Part Design* muss aktiv sein. Im *Kombifenster* ist jetzt das Register *Aufgaben* aktiv. Klicken Sie unter dem Feld *Start Part* auf den Eintrag *Körper erstellen*, um ein neues Modell zu starten.



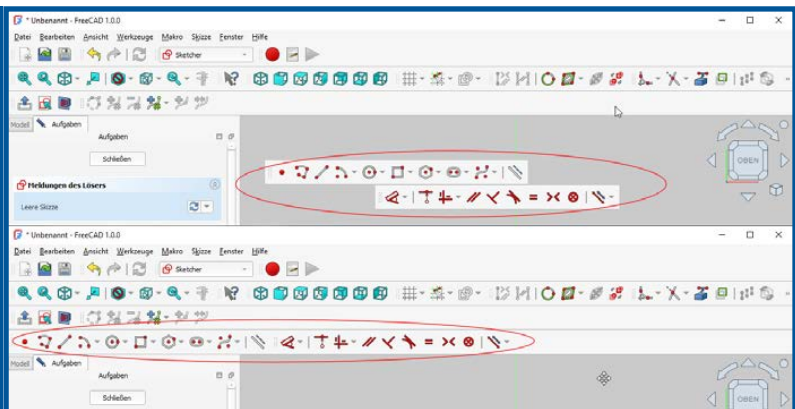
- 2 Klicken Sie danach auf den Eintrag *Skizze erstellen*. Jetzt bekommen Sie die mögliche Ebene angeboten, auf der die Skizze erstellt werden kann.
- 3 Sie möchten den Schlüsselanhänger in der Draufsicht skizzieren, also klicken Sie die *XY-Ebene* an, bestätigen mit *OK*, und die Ebene wird für die Skizze verwendet und gleich in den Arbeitsbereich *Sketcher* gewechselt. Sie hätten auch in der Arbeitsfläche auf den Rand der angezeigten *XY-Ebene* klicken können und wären zum gleichen Ergebnis gekommen (siehe Abbildung 11.43).

Abbildung 11.43:
Wahl der Skizzier-
ebene.



- 4 Jetzt ist der Arbeitsbereich *Sketcher* aktiv und die Werkzeugkästen haben gewechselt. Sie benötigen davon nun die Werkzeugkästen *Skizzengeometrien* und *Sketcher-Randbedingungen*. Sie sind normalerweise eingeschaltet. Überprüfen Sie das noch einmal, und schalten Sie diese eventuell wie oben beschrieben ein.
- 5 Damit die Werkzeugkästen in voller Größe zugänglich sind, können Sie diese neu anordnen. Ziehen Sie sie an den senkrechten linken Balken auf die Arbeitsfläche (siehe Abbildung 11.44 oben). Besser platziert sind sie unter den anderen Werkzeugkästen. Schieben Sie beide dorthin und sie rasten ein (siehe Abbildung 11.44 unten).

Abbildung 11.44:
Werkzeugkästen
platzieren.



Sketcher versehentlich beendet

Falls Sie versehentlich die **[Esc]**-Taste drücken, wird der Arbeitsbereich *Sketcher* verlassen. Wie kommen Sie wieder zurück? Klicken Sie im Kombifenster auf das Register *Modell*. Dort sehen Sie die derzeitige Struktur Ihres aktuellen Modells. Viel ist noch nicht da, aber der Eintrag *Sketch* (siehe Abbildung 11.45). Klicken Sie ihn doppelt an und Sie sind wieder im *Sketcher*.

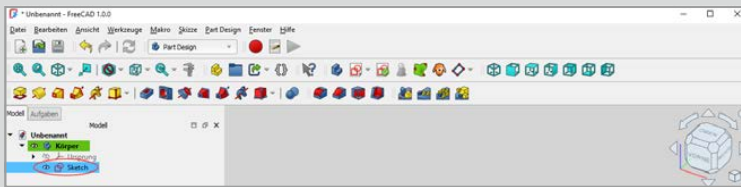


Abbildung 11.45: Sketcher wieder aktivieren.

Da der Arbeitsbereich *Sketcher* nur aus einer 2D-Ebene besteht, lässt sich dort leicht navigieren. Der Bildausschnitt kann mit gedrücktem Mausrad verschoben und mit dem Mausrad vergrößert und verkleinert werden. Drehen in Richtung Hand bewirkt eine Verkleinerung und von der Hand weg bewirkt eine Vergrößerung um die Position des Mauszeigers. Mehr ist momentan nicht nötig. Jetzt wollen wir aber skizzieren.

- 1 Starten Sie die Funktion *Rechteck* mit dem obersten Symbol aus einem Abrollmenü des Werkzeugkastens *Skizzengeometrien*. Damit wird ein Rechteck durch Eingabe der diagonalen Eckpunkte erstellt. Das Rechteck soll 65 mm x 20 mm groß werden. Klicken Sie den ersten Punkt am Schnittpunkt der Achslinien an. Bei der Eingabe des zweiten Eckpunktes sehen Sie die Maße mitlaufen. Klicken Sie dann den Punkt rechts über dem ersten Punkt an, in etwa bei den genannten Maßen. Verkünsteln Sie sich nicht, nur ungefähr. Das genaue Maß legen Sie nachher fest (siehe Abbildung 11.46 oben).

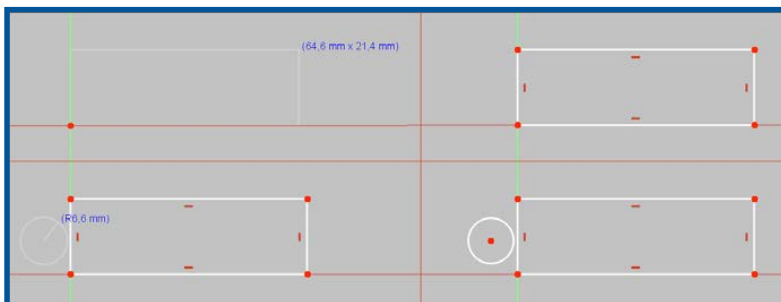


Abbildung 11.46: Rechteck und Kreis skizzieren.



- 2 Wählen Sie jetzt die Funktion *Kreis*, ebenfalls mit dem obersten Symbol aus einem Abrollmenü des Werkzeugkastens *Skizzengeometrien*. Etwas links vom Rechteck zeichnen Sie einen Kreis durch Eingabe des Mittelpunkts und eines Punkts auf der Kreisfläche. Dabei soll der Radius ungefähr 6 mm sein (siehe Abbildung 11.46 unten).

GUT ZU WISSEN

Funktion beenden

Das gilt in *FreeCAD* immer: Mit der rechten Maustaste wird eine Funktion beendet. Oft wird eine Funktion allerdings auch beendet, wenn eine neue ausgewählt wird. Aber nicht immer, deshalb besser mit Rechtsklick abbrechen.

- 3 In Abbildung 11.46 wurde die Kontur noch ungenau gezeichnet. Keine Angst, das kann leicht behoben werden. Zunächst wollen wir uns aber die seltsamen Symbole am Rechteck anschauen. *FreeCAD* hat automatisch *Sketcher-Randbedingungen* vergeben. Zwei Kanten des Rechtecks sollen immer waagrecht sein und die anderen senkrecht. Diese *Randbedingungen* werden in *FreeCAD* manchmal auch englisch als *Constraint* bezeichnet, in diesem Fall sind es die Constraints *Horizontal* und *Vertikal*. Sie sehen es auch daran, dass Sie einen Endpunkt mit gedrückter Maustaste beliebig verschieben können, aber die Endpunkte werden nicht auseinandergezogen, und es bleibt immer ein Rechteck, es wird nicht schiefwinklig. Im Kombifenster im Register *Aufgaben* sehen Sie jetzt die Constraints, die das Programm automatisch vergeben hat.

GUT ZU WISSEN

Funktionen rückgängig und Wiederherstellen

Die Funktionen, um Aktionen rückgängig zu machen und auch wiederherzustellen, gibt es auch in *FreeCAD* wie in jedem Windows-Programm. Sie finden sie im Werkzeugkasten *Bearbeiten*. Klicken Sie auf das Symbol, wird die letzte Aktion rückgängig gemacht. Das kann mehrmals erfolgen. Aktivieren Sie die Drop-down-Liste, können Sie die Funktionen wählen, die Sie zurücknehmen bzw. wiederherstellen wollen.



Die Skizze bemaßen

Noch können Sie die Skizze an den Punkten beliebig verändern. Mit Bemaßungen können Sie diese fixieren, dabei handelt es sich ebenfalls um Randbedingungen oder Constraints.

- 1 Im ersten Abrollmenü des Werkzeugkastens *Sketcher-Randbedingungen* befinden sich die Constraints für die Bemaßung. Wählen Sie die Funktion *Horizontalen Abstand festlegen*. Klicken Sie die obere waagerechte Linie des Rechtecks an. Das aktuelle Maß wird angezeigt. Überschreiben Sie es mit dem gewünschten Maß von 65 mm. Wenn Sie mit *OK* bestätigen, wird das Rechteck auf diesen Wert gebracht und das Maß eingetragen (siehe Abbildung 11.47 oben).



- 2 Wählen Sie dann die Funktion *Vertikalen Abstand festlegen* im Abrollmenü. Klicken Sie die rechte senkrechte Linie des Rechtecks an. Tragen Sie den Sollwert von 20 mm ein. Falls die Maßzahlen durcheinandergeraten sind, können Sie sie mit gedrückter Maustaste an eine freie Stelle ziehen (siehe Abbildung 11.47 unten). Haben Sie sich beim Maß vertan, können Sie mit einem Doppelklick auf die Maßzahl diese auch im Dialogfeld ändern.

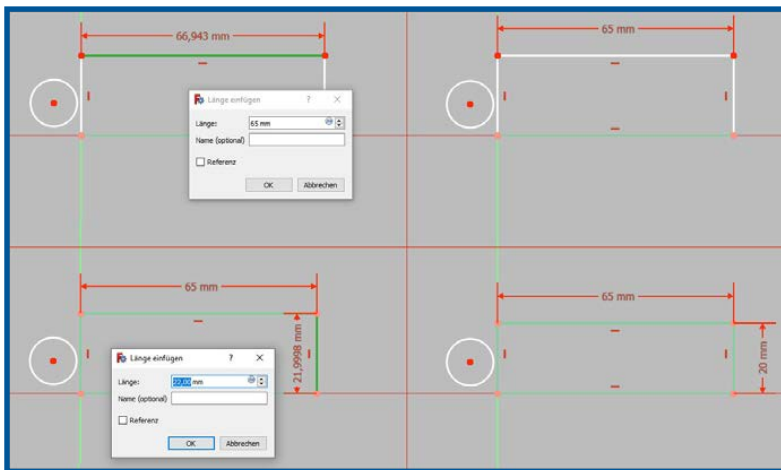


Abbildung 11.47:
Das Rechteck
bemaßen.

- 3 Jetzt zum Kreis. Wählen Sie die Funktion *Durchmesser festlegen* aus dem Abrollmenü. Klicken Sie den Kreis an und tragen Sie den Sollwert von 12 mm ein, bestätigen Sie mit *OK* und ziehen Sie das Maß an eine Stelle, an der es gut lesbar ist (Abbildung 11.48 links).
- 4 Bemaßen Sie dann noch die Position des Kreises. Wählen Sie dazu die Funktion *Horizontalen Abstand festlegen*. Klicken Sie nacheinander den linken unteren Punkt des Rechtecks und den Mittelpunkt des Kreises an. Der Sollwert ist 4 mm, also den Wert eintragen und das Maß anordnen. Zuletzt folgt noch die Funktion *Vertikalen Abstand festlegen*, hier klicken Sie wieder den linken unteren Punkt des Rechtecks und den Mittelpunkt des Kreises an. Hier ist der Sollwert

